

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

**Studium praskavosti sklovitých smaltových povlaků při
tepelném zatížení**

**Study of Crackability Vitreous Enamel Coatings at Heat
Load**

Student:
Vedoucí bakalářské práce:

Barbora Babištová
doc. Ing. Jitka Podjuklová, Csc.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Barbora Babištová**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Studium praskavosti sklovitých smaltových povlaků při tepelném zatížení
Study of Crackability Vitreous Enamel Coatings at Heat Load

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte výrobu a vlastnosti sklovitých smaltových povlaků.
2. Prostudujte příčiny praskavosti smaltových povlaků při tepelném zatížení.
3. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
4. Proveďte experimentální práce a jejich vyhodnocení.
5. Zpracujte technickou zprávu včetně technicko-ekonomického zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
MENČÍK, J.: *Pevnost a lom skla a keramiky*. SNTL, Praha, 1990. 389 s. ISBN 80-03-00205-2.
BOUŠE, V. a kol.: *Smalty a jejich použití v protikorozi ochraně*. SNTL, Praha, 1986. 216 s.
PODJUKLOVÁ, J.: *Speciální technologie povrchových úprav I*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 1994. 1. vydání. 71 s. ISBN 80-7078-235-8.

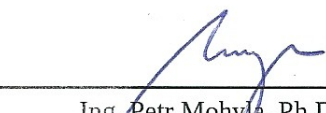
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014




Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě19.5.2014.....

..........

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 19.5.2014



podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Barbora Babištová

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Pod Senovou 2750/46A

Šumperk

787 04

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BABIŠTOVÁ, B. *Studium praskavosti sklovitých smaltových povlaků při tepelném zatížení: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2014, 55 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Podjuklová, J.,Csc.

Bakalářská práce se zabývá studiem praskavosti sklovitých smaltových povlaků při tepelném zatížení. Tato práce je vypracována pouze formou rešerše kvůli uzavření školní laboratoře z důvodu rekonstrukce. Obsahuje rozdělení smaltových povlaků a jejich základní vlastnosti včetně surovin potřebných k výrobě, jaké úpravy je třeba provést před jejich nanesením a technologii jakým způsobem se nanášejí. Zabývá také vadami smaltů a jejich zkoušením. Na závěr pojednává o materiálech vhodných pro výrobu varných nádob a vhodnost jejich použití pro indukční ohřev. Hlavní důraz je kladen na vliv tepelné vlastnosti sklovitých smaltových povlaků a jejich teplotní odolnost.

ANNOTATION BACHELOR THESIS

BABIŠTOVÁ, B. *Study of Crackability Vitreous Enamel Coatings at Heat Load: bachelor thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2013, 55 p. Vedoucí práce: doc. Ing. Podjuklová, J.,Csc.

The bachelor thesis deals with the cracking of vitreous enamel coatings at heat load. This thesis is developed only through research due to the closing of school laboratories for renovation. Includes distribution of enamel coatings and their properties including raw materials needed to produce what adjustments should be made prior to applying technology and how to apply. It also deals with enamel defects and their testing. Finally discusses materials suitable for the manufacture of cooking vessels, and their suitability for induction heating. The main emphasis is on the influence of the thermal properties of vitreous enamel coating and heat resistance.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	9
0. ÚVOD	10
1. ROZDĚLENÍ A VLASTNOSTI SKLOVITÝCH SMALTOVÝCH POVLAKŮ	11
1.1. Definice smaltových sklovitých povlaků	11
1.2. Druhy smaltových sklovitých povlaků	11
1.2.1. Smalty základní	12
1.2.2. Smalty krycí	12
1.2.3. Smalty jednovrstvé (přímé)	12
1.2.4. Smalty na šedou litinu	12
1.2.5. Smalty na neželezné kovy	13
1.2.6. Smalty na ocelový plech	13
1.3. Suroviny potřebné k výrobě smaltu	13
1.4. Vlastnosti smaltů	14
1.4.1. Korozní vlastnosti	14
1.4.2. Mechanické vlastnosti	14
1.4.3. Tepelné vlastnosti	15
1.4.4. Optické vlastnosti	15
1.5. Vznik spojení mezi kovem a sklokeramickým povlakem	15
2. ÚPRAVY POVRCHU PŘED SMALTOVÁNÍM	17
2.1. Mechanické úpravy povrchu	17
2.1.1. Otryskávání	17
2.1.2. Omílání	19
2.1.3. Broušení, leštění, kartáčování	19
2.2. Chemické úpravy povrchu	20
2.2.1. Odmašťování	20
2.2.2. Moření	20
2.2.3. Neutralizace	21

3.	TECHNOLOGIE SMALTOVÁNÍ	22
3.1.	Technologický postup smaltování	22
3.2.	Technologie povlakování.....	22
3.2.1.	Smaltéřská suspenze.....	22
3.2.2.	Práškové smalty	22
3.2.3.	Nanášení za mokra	22
3.2.4.	Nanášení za sucha.....	23
3.2.5.	Sušení	24
3.2.6.	Vypalování	24
4.	VADY SMALTOVÉHO POVLAKU, JEJICH ZKOUŠENÍ A OPRAVY	25
4.1.	Vady povlaku.....	25
4.1.1.	Vada rybí šupina.....	25
4.1.2.	Vada pomerančová kůra	26
4.1.3.	Bublinky, krátery, pórovitost a vpichy	26
4.1.4.	Měděné hlavičky, přepálení smaltu	28
4.1.5.	Odprýsknutí a poškození po výpalu	28
4.1.6.	Nerovnoměrné zabarvení a zatavené vady	29
4.2.	Technologie zkoušení vad	29
4.2.1.	Zkouška optická.....	29
4.2.2.	Zkouška ultrazvukem	29
4.2.3.	Zkouška nízkým napětím	30
4.2.4.	Zkouška mikrotvrdosti.....	30
4.2.5.	Zkouška tloušťky smaltu	30
4.2.6.	Zkouška odolnosti proti nárazu	31
4.2.7.	Zkouška odolnosti proti teplotním šokům.....	31
4.3.	Opravy	32
5.	MATERIÁLY A POVRCHOVÉ ÚPRAVY PRO VÝROBU NÁDOBÍ, JEJICH VLASTNOSTI A VHODNOST POUŽITÍ	33
5.1.	Hliník	33

5.2.	Korozivzdorná ocel.....	34
5.3.	Litina.....	34
5.4.	Titan.....	35
5.5.	Měď.....	36
5.6.	Keramika.....	36
5.7.	Sklo.....	37
5.8.	Porcelán.....	37
5.9.	Teflon a PTFE.....	38
5.10.	Smalt.....	39
6.	VLIV INDUKČNÍHO OHŘEVU NA SMALT.....	40
6.1.	Princip elektromagnetické indukce.....	40
6.2.	Výhody indukční desky.....	40
6.2.1.	Bezpečné použití.....	40
6.2.2.	Snadná údržba.....	41
6.2.3.	Efektivita.....	41
6.2.4.	Doplňková výbava.....	41
6.3.	Nevýhody indukční desky.....	42
6.3.1.	Připojení.....	42
6.3.2.	Nádobí pro indukční ohřev.....	42
6.3.3.	Hluk.....	42
6.4.	Teplotní odolnost smaltových povlaků.....	43
7.	ZÁVĚR.....	44
	POUŽITÁ LITERATURA.....	45
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	53

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

ZNAK	VELIČINA	JEDNOTKA
ČSN	Česká státní norma	-
DIN	Německá národní norma	-
EN	Evropská norma	-
ISO	Mezinárodní norma	-
C	uhlík	-
Co	kobalt	-
CoO	oxid kobaltnatý	-
Cr	chrom	-
Cu	měď	-
E	modul pružnosti	[Pa]
F	síla	[N]
Fe	železo	-
H	vodík	-
H ₂	molekulární vodík	-
K	koefficient vlastností smaltu	-
Ni	nikl	-
NiO	oxid nikelnatý	-
Sb	antimon	-
T	teplota	[K]
Ti	titan	-
U	elektrické napětí	[V]
c	tepelná kapacita	[J kg ⁻¹ K ⁻¹]
f	frekvence	[Hz]
t	teplota	[°C]
t ₁	tloušťka nánosu	[mm]
t ₂	tloušťka nánosu	[mm]
α	koefficient teplotní roztažnosti	[K ⁻¹]
Δt	teplotní rozdíl	-
λ	tepelná vodivost	[W m ⁻¹ K ⁻¹]
μ	Poissonovo číslo	-
ρ	hustota	[kg m ⁻³]
σ _p	pevnost v tahu	[Pa]

0. ÚVOD

Po staletí byl smalt využíván pro výrobu okrasných předmětů a šperků. Se smaltováním kovů s využitím pro průmysl se rozvinulo na začátku 19. století a vývoj pokračoval až ke smaltování plechu (tabulky) na konci století. Smalt je sklo velmi složitého chemického složení s dalšími příměsemi. Slučuje pozitivní vlastnosti skla s keramikou, který přilne ke kovu.

Vlivem zvyšující se fyzikální a chemické agresivity okolního prostředí a atmosféry roste znehodnocování výrobků korozním namáháním. Sklovité smaltové povlaky chrání podkladový kov proti korozi a základnímu materiálu zlepšují povrchové vlastnosti. Jejich využití je například pro spotřební výrobky, v automobilovém průmyslu, stavebnictví a architektuře, lékařství a také v ekologickém, zemědělském a energetickém strojírenství.

Mezi výhody smaltových povlaků patří hygienická nezávadnost, vysoká tlaková pevnost (700 – 1300 MPa) a tvrdost, odolnost proti opotřebení, odolnost proti vysokým i nízkým teplotám, chemická a barevná stálost. Nevýhodou je jejich křehkost, není možné je po vnějším poškození (například úderem) opravit a ani je zpracovávat (nesvařitelné). [1, 2, 8, 14, 15]

1. ROZDĚLENÍ A VLASTNOSTI SKLOVITÝCH SMALTOVÝCH POVLAKŮ

1.1. *Definice smaltových sklovitých povlaků*

Smalt je ve své podstatě sklo složitěho chemického složení a tím modifikovaných vlastností. Sklovité smaltové povlaky se řadí mezi nekovové anorganické a natavují se na kovový základní materiál při teplotě vypalování nad 800 °C, kde vytvoří celistvý povlak. Vrstva smaltu izoluje kov a vytváří tak protikorozi ochranu. Hlavními složkami jsou jíla a smaltéřská fritta. [1, 10, 11]

1.2. *Druhy smaltových sklovitých povlaků*

Smaltéřskou fritu, potřebnou k vytvoření ochranného povlaku, získáme tavením oxidických složek kmene a jejich rychlým ochlazením. Granálie (sklovité krystalky) získáváme litím do vody a šupiny litím mezi ocelové válce, které jsou chlazené vodou. Většinu vlastností ovlivňuje chemické složení frity.

Smalty rozdělujeme na:

- smalty základní (Z)
- smalty krycí (K)
- smalty jednovrstvé, přímé (Z)

Podle chemického složení smaltéřské frity a podle kovu na který povlak nanášíme:

- smalty na litinu (L)
- smalty na neželezné kovy (N)
- smalty na ocelový plech (P)

Podle způsobu nanesení povlaku dělíme:

- smalty nanášené konvenční technologií
- smalty nanášené v el. poli vysokého napětí
- smalty pro elektroforézní nanášení [1, 2]

1.2.1. Smalty základní

Základní smalty tvoří malou přídržnou vrstvičku mezi krycím smaltem a základním kovovým materiálem. Ve většině případů tento smalt netvoří přímo funkční povlak. Vypalují nejčastěji v rozmezí teplot 790 – 860 °C a následně se na základní smalt vypálí i smalt krycí. [3, 4]

1.2.2. Smalty krycí

Krycí smalty jsou povlaky funkčními, nanášíme je na smalty základní a vypalujeme v rozmezí teplot 780 – 860 °C. Tyto smalty ovlivňují barvu, schopnost odolávat okolním vlivům a další jak optické, tak i chemické a mechanické vlastnosti. Podle druhu frity rozdělujeme krycí smalty na transparentní (výrazné plné barvy nebo zcela průhledné), polotransparentní (pastelové barvy) a zakalené (bílá a tmavé barvy). [3, 5]

1.2.3. Smalty jednovrstvé (přímé)

Smalty jednovrstvé neboli přímé jsou speciálně upraveným typem smaltu, jedná se o kombinaci základního a krycího, který se nanáší přímo na základní materiál. Sjednocuje vlastnosti obou předchozích druhů smaltů, jak přídržnost základních, tak funkční vlastnosti krycích. Jsou vhodné například pro součásti komplikovanějších tvarů a tam kde by vnitřní pnutí mohlo způsobit necelistvost. Tloušťka takového povlaku by se měla pohybovat mezi 100 µm a 400 µm [6, 51]

1.2.4. Smalty na šedou litinu

Jako podkladový materiál můžeme použít šedou litinu jen s perlitickou strukturou, která se při smaltování přetvoří na feritickou. Nesmí obsahovat trhliny, póry ani jiné vnější vady. Smalt má tendenci zalévat nerovnosti po otryskávání a vytvořit tak rovný povrch. Důležité je také její chemické složení. Šedá litina se dá smaltovat dvěma způsoby a to běžným způsobem pomocí suspenze nebo pudrováním mezi teplotami 800 °C a 900 °C. Vypalování základního smaltu probíhá v intervalu teplot 700 – 900 °C a krycího mezi 750 – 850 °C. [1, 7, 51]

1.2.5. Smalty na neželezné kovy

Vhodnými neželeznými kovy pro smaltování jsou měď, bronz, mosaz, hliník a jeho slitiny. Zvláštní pozornost je třeba u hliníkových slitin věnovat obsahu hořčíku a mědi, neboť při jeho vyšších hodnotách je smaltování obtížnější. Nejčastěji smaltujeme hliník nebo slitiny hliníku používané jako základní materiál pro výrobu hrnců. Při tloušťce smaltované vrstvy 100 μm vypalujeme za teplot 500 – 550 $^{\circ}\text{C}$. Pro ostatní neželezné kovy dodržujeme teplotu $\pm 600^{\circ}\text{C}$ a tloušťku od 150 μm do 400 μm . [6, 7, 51]

1.2.6. Smalty na ocelový plech

Smaltování oceli je omezeno 0,1 % uhlíku, u těch u nichž je toto procento vyšší je smaltování obtížnější kvůli reakci s oxidy za vzniku plynů jako například vodík a oxid uhličitý, které zapříčiňují vznik povlakových vad během výpalu (800 – 900 $^{\circ}\text{C}$). V oceli vhodné pro smaltování je důležité dodržovat maximální přípustný obsah prvků jako je mangan (0,2 %), křemík (0,2 %) a další. Ideálními ocelmi jsou neuklidněné třídy 11. Vrstva nánosu by neměla mít tloušťku vyšší než 120 μm . [1, 2, 6, 51]

1.3. Suroviny potřebné k výrobě smaltu

Smalt je složen z velkého množství prvků: křemenu, živce, kaolínu, hydroxidu hlinitého, boritých surovin, fosforečných surovin, uhličitanu sodného, síranu sodného, dusičnanu sodného, dusičnanu draselného, uhličitanu draselného, uhličitanu lithného, oxidu manganičitého, oxidu kobaltnatého, oxidu kobaltitého, oxidu kobaltnato-kobaltitého, oxidu nikelnatého, oxidu zinečnatého, oxidu titaničitého, křemičitanu zirkoničitého, uhličitanu hořečnatého, uhličitanu vápenatého, uhličitanu barnatého, olovnatých sloučenin a mlýnských přísad. [51]

Křemen, dostupný jako sklářský písek s potřebnou velikostí zrn 0,1 – 0,2 mm, má podle Mohsovy stupnice tvrdosti hodnotu 7 a musí obsahovat minimálně 99 % oxidu křemičitého o hustotě je 2,65 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Kaolín je používán pro přípravu smaltéřské břechky jako jílu. Mlýnské přísady upravují všechny výsledné vlastnosti sklovitého povlaku. Přísady dělíme na žáruvzdorné, kalící, barvící, suspenzační a elektrolyty. Barvicími přísadami jsou myšleny oxidy kovů, které upraví povrch na danou barvu. Dále je dělíme na barvítka disperzní, která se rozpouští a dají použít pro jakýkoli smalt. Spinelová barvítka se ve

smaltu rozptýlí, ale jsou nerozpustná. Rutilová používaná k barvení titaničitých smaltů, zirkonová a granátová pro barvení skel. [51]

1.4. Vlastnosti smaltů

1.4.1. Korozní vlastnosti

Smalty tvoří nepropustnou celistvou vrstvu na základním kovovém materiálu, řadíme je mezi nekovové anorganické povrchové úpravy. Pokud smalt bude nanesen na předem správně upravený materiál, který zároveň bude pro něj určený a vhodně přilne ke kovu, izoluje ho tak od korozního prostředí. U smaltových povlaků dochází k vyluhování případně rozpuštění, dojde-li k napadení korozi, jako následek pouze chemických procesů. Smaltové povlaky jsou velice chemicky odolné. Pokud mají ve sklovité fázi část krystalické fáze, zvyšuje se tím jejich odolnost proti korozi. Odolávají skvěle atmosférické korozi. Při dodržení vhodného chemického složení smaltu, správné předúpravě materiálu, celistvosti povrchu a přidržitosti vrstvy získáme antikorozní ochranu v organických a anorganických (s výjimkou kyselin fluorovodíkové a fosforečné) kyselinách, jak pro vysoké (500 – 900 °C) a nízké (-50 °C) teploty, tak i pro vysoké tlaky. Korozi u smaltových povlaků rozdělujeme podle prostředí, ve kterém vzniká. Jde o prostředí vodní a vodních par, kyselé, alkalické, agresivních atmosfér a o nízkoteplotní korozi. [1, 2, 7, 51]

Smaltové povlaky, u kterých je třeba zajistit, aby byly vysoce chemicky odolné, musíme vypalovat vysokých teplot. Při vypalování základního smaltu má být teplota výpalu 900 °C a při následných vrstvách smaltu krycího s tloušťkou mezi 400 µm a 2000 µm přičemž tloušťka jednoho nánosu nesmí přesáhnout 300 µm, se teplota udržuje vyšší než 820 °C. Oproti tomu povlaky, které nemusejí splňovat speciální požadavky na prostředí, a není tedy kladen důraz na jejich protikorozní ochranu (například spotřebiče), mají tloušťku nánosu mezi 50 a 400 µm a vypalujeme je za teplot nižších než 800 °C. [51]

1.4.2. Mechanické vlastnosti

Pevnost v tahu smaltů je relativně malá a pohybuje se v rámci hodnot mezi 70 – 90 MPa, oproti tomu pevnost v tlaku je 700 – 1300 MPa. Tvrdost (přístrojem je tvrdoměr, měříme různými metodami například dle Vickerse), kterou definuje Mohsova stupnice, leží někde mezi apatitem a křemenem (5 – 7 stupeň). Smalty mají velkou odolnost proti opotřebení a jsou až pětikrát tvrdší než ocel. Mají nízkou lomovou

houževnatost (do $10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$), což je v porovnání s ocelí desetkrát až stokrát nižší. Hustota smaltu je závislá na chemickém složení a smaltéřské fritě, její hodnota se pohybuje okolo $2500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Povlak je však křehký a nárazem může dojít k poškození (odprýsknutí). [1, 2, 6, 7]

1.4.3. Tepelné vlastnosti

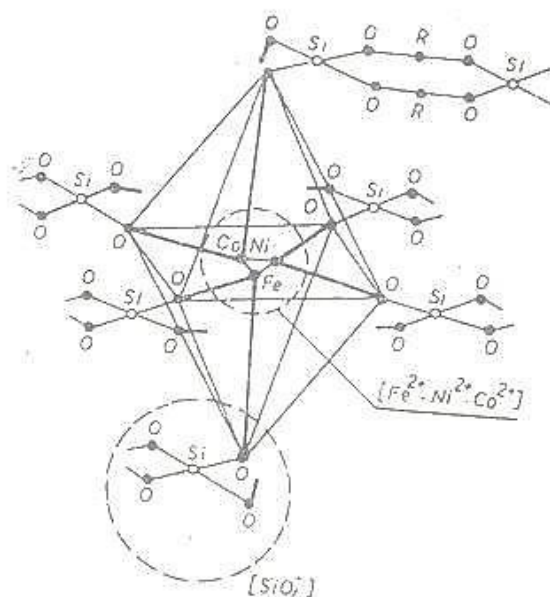
Teplotní roztažnost smaltového povlaku se musí přizpůsobit teplotní roztažnosti kovového podkladového materiálu kvůli napětí, tak aby roztažnost smaltu byla nižší. Napětí musí být tlakové, aby byl povlak odolný teplotním změnám. Je třeba určit součinitele teplotní roztažnosti a poměr mezi kov: základní smalt: krycí smalt se musí co nevíce blížit poměru 1: 0,8: 0,75. Dlouhodobě dokáží snášet běžné smalty teploty $400 - 500 \text{ }^{\circ}\text{C}$ oproti tomu speciálně upravené žáruvzdorné smalty mohou být dlouhodobě vystaveny až teplotám do 1100°C . Ale snáší i nízké teploty do $-50 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Tloušťka povlaku a jeho složení a struktura ovlivňují hodnotu tepelné vodivosti, kterou mají nízkou (při 313 K je $0,093-0,114 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) a je závislá na pórovitosti povlaku. Pokud je povrch hladký ovlivňuje směrem k lepšímu přestup tepla, ovšem poměr tloušťky smaltové vrstvy oproti kovu je velmi malý a proto smalt prostup tepla nijak výrazně neovlivní. [1, 2, 6, 7, 51]

1.4.4. Optické vlastnosti

Smaltový povlak jde vytvořit v nejrůznějších barvách. Během tavby smaltéřské frity se přidávají barvicí oxidy. Pro vytvoření zakaleného smaltu se používají kaliva. Lesku povlaku dosahujeme pomocí jeho chemického složení důležitý je obsah alkálií a oxidu boritého. Výsledek můžeme posoudit vizuální zkouškou nebo změřit leskoměrem. A podle stupně lesku rozdělujeme povlaky na lesklé, polomatné (pololesklé), matné. [7]

1.5. *Vznik spojení mezi kovem a sklokeramickým povlakem*

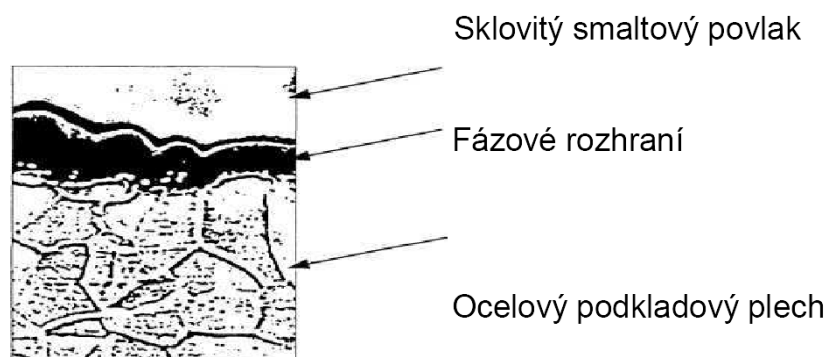
Aby byla u smaltu zaručena použitelnost, musí vytvářet bezchybné spojení mezi kovem a sklokeramickým povlakem. Vzniká při tepelném zpracování v rozmezí teplot $800 - 950 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Na fázovém rozhraní kov – smalt vzniká přechodový sklokeramický komplex klastrového typu. [1, 2]



Obr. 1.5.1 – Model sklometalického klastrového komplexu v oktaedrické symetrii. [2]

Při vypalování smaltů vzniká tenká vrstva oxidů Fe_3O_4 , která zapříčiňuje spojení mezi sklem a železem. Aby bylo možné vytvořit přechodovou vrstvu na fázovém rozhraní kov–smalt je potřeba vytvořit vhodné podmínky, aby mohl vzniknout sklometalický komplex (zajistit přítomnost iontů kovů přechodové skupiny mezi které patří Fe, Co, Ni, Cu, Ti, Sb)

Přídržné oxidy CoO a NiO reagují na fázovém rozhraní kov – smalt kde tvoří lokální galvanické mikročlánky, vlivem čehož dochází ke korozi povrchu kovu a tím k jeho zdrsnění a zakotvení smaltu [1, 2, 7]



Obr. 1.5.2 – Adhezní mezivrstva sklokeramického komplexu na fázovém rozhraní kov–smalt [7]

2. ÚPRAVY POVRCHU PŘED SMALTOVÁNÍM

Povrchy kovů musíme před nanesením smaltu připravit, upravit na požadovanou čistotu, čímž zajistíme jeho dobrou přilnavost a zakotvení povlaku. K povrchu jsou vázány látky jak mechanicky, tak chemicky. K jejich odstranění používáme zpravidla technologie odmašťování, moření. Přípravu dělíme do skupin na mechanickou a chemickou. [1, 2, 6]

2.1. Mechanické úpravy povrchu

Mechanickou úpravou povrchu odstraňujeme nečistoty z povrchu kovu. Nečistoty jak vlastní tak cizí vázané nečistoty patří sem například okuje, rzi a oxidy, mastnoty, prachové částice, zbytky mýdel, oleje a tuky. [1]

2.1.1. Otryskávání

Jako mechanickou úpravu povrchu před smaltováním volíme otryskávání, která nejen čistí, ale i zvyšuje mez pevnosti a tak zlepšuje mechanické vlastnosti povrchu. Před otryskáváním je ještě třeba povrch opálit nebo odmastit a zbavit hrubých nečistot. [1]

Funguje to tak, že nástroj, kterým je tryskáci prostředek, velkou rychlostí dopadá na povrch. Je to nevíce účinný mechanický způsob pro odstranění koroze. Výkon závisí na velikosti zrna, tlaku, druhu tryskáciho materiálu, velikosti a vzdálenosti trysky a úhlu dopadu. Důležitý je materiál používaný jako prostředek a dále také tvrdost, hmotnost, zrnitost zrna. [1]

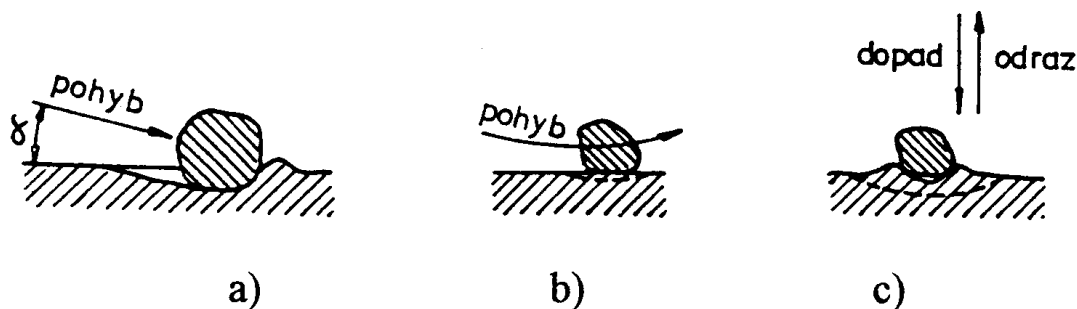
Tryskací prostředek urychlujeme buď pomocí energie vzduchu nebo energií metacího kola. Tryskací stroje máme tlakové (používají pro složité a rozměrné výrobky) a injektorové (pro menší součásti). Na závěr se povrch musí očistit například stlačeným vzduchem popřípadě ocelovým kartáčem. [1]

Podle tvaru zrna můžeme tryskáci prostředky rozdělit na:

- Kulaté zrno – zpevňuje povrch nárazy do povrchu, kde zůstávají malé důlky a chrání před korozí. Výhodou je, že materiál není odstraňován v takovém

množství jako u zrn ostrých. Nevýhodou, že nedostatečná drsnost pro ideální zakotvení povlaku a částečné vtlačení povrchových nečistot dovnitř.

- Tvrdé ostrohranné zrno – rozrušují povrch podle toho jaký mají úhel dopadu – obr.2.1.1. Zasekávají se v něm a způsobují kráterky v materiálu, který se tak stává drsnější. [1, 6]

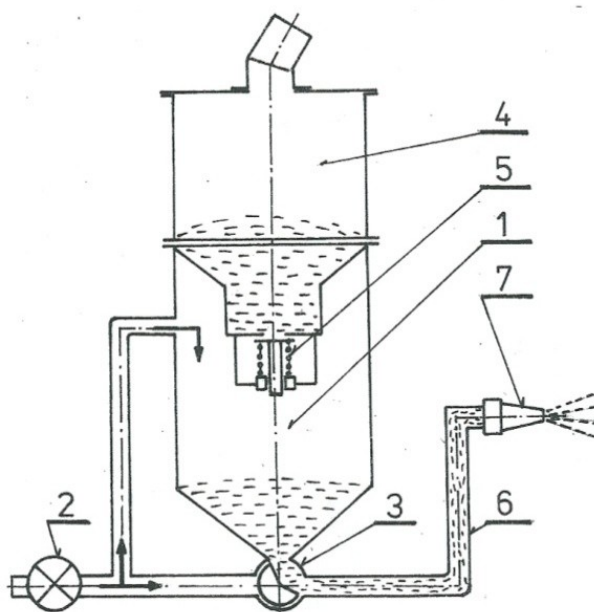


Obr. 2.1.1. – *Dopad částice na povrch /a) šikmý, b) rovnoběžný, c) kolmý/*. [6]

Jako tryskácké prostředky používáme:

- Prostředky kovové – litinová drť (vysoká cena, ale také trvanlivost), sekáný drát (vysoká pevnost a pořizovací cena, ale ekonomicky výhodný, protože dlouho vydrží)
- Prostředky nekovové – balotina (kuličky ze skla), karbid křemíku, umělý korund, sklářský písek, křemičitý písek, plastické hmoty, drť skořápek ořechů a pecek. [1,9]

Do tlakové nádoby se umístí tryskácký materiál. Přes ventil (2) se přivede vzduch pod tlakem do zásobníku (1) a trysky po směšování (3). Poté co se vyprázdní dolní zásobník se zavře ventil, změnou tlaku v komoře a vlivem hmotnosti tryskáckého prostředku dojde k otevření ventilu (5) a prostředek se sesype dolů. Směšovací tryska se uzavře a ventil otevře, tlak v komoře stoupne a ventil se uzavře. [1]



Obr. 2.1.2. – Tlakový jednokomorový tryskač. [1]

2.1.2. Omílání

Omíláním upravujeme povrchy méně rozměrných oblých součástí. Předměty se navzájem omílají zároveň s brusivem, nosnými kameny a kapalinou umístěných v omílacím bubnu případně zvonu. Kameny používáme jak přírodní tak i umělé a jejich funkce je vytvářet brusivu vhodný podklad. Operace broušení a leštění lze omíláním nahradit, pokud nejde o křehké nebo členité předměty. Účel kapaliny, kterou mohou být například alkalická odmašťovadla, je namáčet povrchy součástí a chránit jejich povrchy před nárazem. [1]

2.1.3. Broušení, leštění, kartáčování

Broušení dělíme do dalších tří podkategorií podle použité zrnitosti brusiva s ohledem na druh materiálu na hrubování, hlazení, jemné hlazení, předlešťování a jemné předlešťování. Nástroje jsou brusné kotouče, které jsou plstěné (maximální šířka 125 mm), dřevěné, látkové (maximální šířka 25 mm), na něž se lepí brusivo nebo brusné pásy papírové či textilní. Platí, že brusný prostředek musí obsahovat jemnější brusivo než brusný kotouč. [1]

Leštění je vhodné použít jako následující operaci po broušení. Pro leštění je nástrojem leštící kotouč látkový nebo plstěný. Leštící prostředek (tukovou pastu, brusnou pastu nebo brusnou suspenzi) nanese na povrch leštícího kotouče. Pro počáteční krok se doporučuje použít vyšší obvodovou rychlost, ostřejší leštící prostředek a kotouče, které patří mezi tvrdší látkové, zatímco pro dokončovací leštění nízkou obvodovou rychlost, kotouče patřící mezi měkčí a pastu jemnou. [1]

Kartáčování využíváme pro odstranění těch nejhrubších nečistot a nástrojem je kartáč, který má ocelové nebo mosazné dráty. Je také možné použít kartáče, které mají vlákna přírodní nebo umělá, vhodné jako předúprava povrchu před leštěním pro zjemnění. [1]

2.2. Chemické úpravy povrchu

2.2.1. Odmašťování

Odmaštění povrchu je základem pro všechny další operace. Zbavíme takto povrch olejů, tuků, mastnot a prachu. Nejčastěji odmašťujeme v alkalických roztocích, v organických rozpouštědlech. [1]

Při odmašťování rostlinných a živočišných tuků v alkalických roztocích přecházejí neutralizací mastné kyseliny ve formě rozpustných mýdel přímo do roztoku. U olejů, vazelin probíhá odmašťování tak, že emulují do roztoku odmašťovadla. Odmašťujeme ve vanách pro odmašťování ponorem, postřikem nebo v bubnech. [1]

Odmašťování v organických rozpouštědlech se používá, pokud nemůžeme použít alkalické roztoky. Mastnoty se rozpustí pomocí rozpouštědel, které by nemělo být jedovaté ani hořlavé. Používá se například trichloretylén. Po odmaštění je nutný oplach vodou. [1]

2.2.2. Moření

Moření je operace, kterou odstraňujeme například rez a okuje. Na oxidy působí kyseliny popřípadě louhy a ty je přemění na soli. Kyselinami používanými pro moření jsou kyseliny sírová, solná a fosforečná. Mořit můžeme ponorným způsobem ve vanách. Po moření musí následovat protiproudý oplach ve vodě. [1]

2.2.3. Neutralizace

Neutralizace má za úkol odstranit pozůstatky mořících kyselin a zabránit dalším reakcím. K niklování používáme ředěné roztoky alkalických kovů. Neutralizační roztok se třeba nechat působit 3–5 minut v lázni o teplotě 80–90 °C. Po skončení operace aplikujeme teplé i studené oplachy. [7]

3. TECHNOLOGIE SMALTOVÁNÍ

3.1. *Technologický postup smaltování*

Aby bylo možné vytvořit kvalitní smaltový povlak, je třeba postupovat podle technologického postupu. Nejprve je potřeba materiál odmastit, následuje teplý a studený oplach pro odstranění zbylých odmašťovacích prostředků. Následuje moření, po kterém je také potřeba provést teplý i studený oplach. Dalším krokem je niklování a po něm oplach studenou vodou a pasivace. Poté je na řadě sušení a nános smaltového prášku nebo břechky podle zvolené technologie, jde-li o nanášení za mokra a tedy je nanесena břечka následuje sušení. Koncovou částí je vypálení a vychlazení. [1]

3.2. *Technologie povlakování*

Smaltové povlaky můžeme nanášet buď za mokra (smaltéřská suspenze) metodou stékací, stříkací, elektroforézní nebo za sucha pudrováním (práškové smalty). [7]

3.2.1. Smaltéřská suspenze

K přípravě suspenze se využívá smaltéřských frit, které se v mlýnech míchají s jílem a dalšími složkami, jejichž poměr je dán mlýnským předpisem. Schopností suspenze je vytvářet rovnoměrnou vrstvu na povrchu smaltované součásti. Mletí ovlivňují hlavně otáčky bubnu, rozměry a váha mlecích elementů (keramické kuličky) a mletého materiálu. Suspenze zraje 24 hodin a až poté by se měla zpracovávat. [1, 13]

3.2.2. Práškové smalty

I k přípravě práškových smaltů se využívá smaltéřských frit. Mletí také probíhá v kulových mlýnech, tak jako při přípravě suspenzí s tím rozdílem, že u práškových probíhá mletí za sucha (bez vody a jílu) a je potřeba dodržet vyšší stupeň čistoty surovin. [7, 13]

3.2.3. Nanášení za mokra

Nanášení povlaku máčením patří mezi nejstarší způsoby. Používá se hlavně pro smaltování malých součástí pro základní smalt. Výrobek se ponoří do předem připravené suspenze v máčecí vaně a po vytažení je pokrytý souvislou rovnoměrnou vrstvou nánosů.

Suspenze, která je na povrchu přebytečná, musí odtékat rovnoměrně. Výhodou jsou velmi malé ztráty smaltu. [1, 7]

Metodu polévání naopak používáme pro nanášení krycích smaltů a je ideální pro součásti složitějších tvarů. Nános se aplikuje ručně a je zapotřebí odborných pracovníků. Tato metoda se mechanizovala a stala se úspěšnou ve smaltování nádobí. [1]

Pro smaltování součástí složitých tvarů a velkých rozměrů používáme metodu stříkání. Stříkat můžeme ručně, automaticky nebo elektrostaticky. Metoda stříkání je mechanizovaná a automatizovaná. Tato metoda je nenáročná. Její nevýhodou jsou velké ztráty kvůli prostříknutí. Při stříkání se v rozprašovací trysce břečka tlakem vzduchu rozprašuje a po dopadu vytváří povlak. [1, 7]

Při elektroforetickém nanášení je vytvářen rovnoměrný povlak, který má velkou kvalitu. Kov je umístěn jako anoda v lázni a k jeho povrchu jsou přitahovány opačně elektricky nabitě částice břečky. Stěny se pokryjí smaltem, který se zpevní. [7]

3.2.4. Nanášení za sucha

Nanášení za sucha můžeme rozdělit na nanášení za tepla (pudrováním posypem, pudrování fluidací) a nanášení za studena (v elektrickém poli) [7]

U nanášení sypaním se nejprve materiál ohřeje na teplotu dost vysokou (do 900 °C), aby mohlo dojít k natavení částic prášku. Prášek se nasype na plochy skrz vibrační síto. Teplem prášek zkapalní a spojí se v povlak. Při nanášení se zároveň i vypaluje a tak se tavení dokončí. Většinou tento proces probíhá v komorové peci, kde je součástí v polohovacím zařízení. [7, 12]

Pro malé součásti vyrobené z litiny je vhodné i fluidační nanášení. Otryskaný materiál se smaltuje základním smaltem, mokrým nanášením (pomocí smaltové břečky). Předehřátá už vypálená součást se poté ponoří do práškového smaltu. [7]

Nanášení v elektrickém poli vysokého napětí využívá elektrického pole. Tato metoda má malé ztráty materiálu a je tedy ekonomická. Princip je v tom, že vlivem korony v blízkosti podávací elektrody se částičky smaltovacího prášku nabijí a začnou se

pohybovat ve směru siločar ke kovovému materiálu, který je přijímací elektrodou a má opačný náboj. [1, 7]

3.2.5. Sušení

Sušením odstraňujeme vodu ze smaltu, který byl nanesen mokřým způsobem. Kdyby k sušení před vypalováním nedošlo, způsobilo by odpařování na povrchu puchýřky. Sušit můžeme na vzduchu nebo v sušárnách. V konvenčních sušárnách za 15 – 20 minut při teplotě vzduchu 60 – 130 °C nebo radiačních kde vysušení trvá 3 – 5 minut. [1, 7]

3.2.6. Vypalování

Poslední operací při výrobě smaltového povlaku je vypálení. Vypalujeme-li základní smalt, pak požadavkem je vytvoření fázového rozhraní kov-smalt. Na rozdíl od smaltu krycího, který má mít funkční vlastnosti. Předměty vypalujeme v rozmezí teplot 750 – 900°C podle podkladového materiálu. Přičemž platí, že krycí a přímé smalty nanášené na ocelový plech se vypalují za vyšších teplot než na litinu. Doba, po kterou smalt vypalujeme, se liší podle tloušťky základního materiálu a smaltové vrstvy. Dále platí, že velmi drobné výrobky se vypalují zhruba po dobu dvou až tří minut, zatímco u tlustostěnných výrobků větších rozměrů může doba výpalu dosahovat i hodin. Mezi pece pro vypalování patří pece komorové a kontinuální. Dále je lze dělit na elektrické, plynové a olejové. [1,7]

4. VADY SMALTOVÉHO POVLAKU, JEJICH ZKOUŠENÍ A OPRAVY

4.1. Vady povlaku

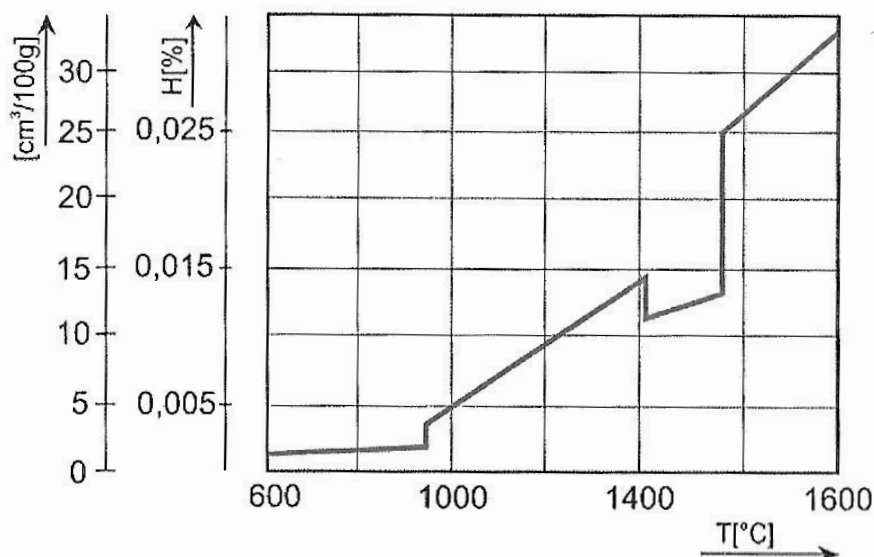
Nejčastěji vady vznikají tak, že není vhodně zvolený kov, druh povlaku nebo při nedodržení technologického postupu smaltování. Pokud vady nemají vliv na vlastnosti povlaku a nepřekračují počet dovolených vad na kus, mohou na výrobku zůstat, jestliže jsou zahrnuty v normách nebo v předem sjednaných podmínkách. [51]

4.1.1. Vada rybí šupina

Vadu, kdy vrstvička smaltu odprýskne, nazýváme vada typu rybí šupina kvůli jejímu tvaru (obr. 4.1.1.). Vady tohoto typu způsobuje tlak molekulárního vodíku H_2 (atmosféra v peci a smaltová břečka obsahují vodu), zvětší svůj objem během ochlazování a dojde k odprýsknutí. Vodík před vstupem do materiálu disociuje na $H+H$ a proces nezávisí jen na tlaku, ale i na teplotě. Některé atomy vodíku se absorbují v materiálu hned na povrchu a ostatní pokračují v pohybu, až se začlení do mřížky nebo se zastaví například o vady ve struktuře nebo poruchy mřížky (atomy železa jsou větší oproti atomům vodíku). Během výpalu dochází k fázovým přeměnám železa a se zvyšující se teplotou je zvýší i rozpustnost vodíku (obr. 4.1.2.). K projevům vady nemusí dojít okamžitě, centra molekulárního vodíku způsobují tlak pozvolně. Vada ne vždy musí dosahovat až ke kovu, může být jen povrchová. Její výskyt se dá omezit tak, že ocel obsahující víc než 0,1 % uhlíku nebudeme smaltovat z obou stran nebo omezíme přístup vodíku na minimum, případně musí být rozložen rovnoměrně. [1, 2, 7, 51]



Obr. 4.1.1. – Vada typu rybí šupina – 80x zvětšeno [52]



Obr. 4.1.2. – Závislost rozpustnosti vodíku v železe na teplotě. [52]

4.1.2. Vada pomerančová kůra

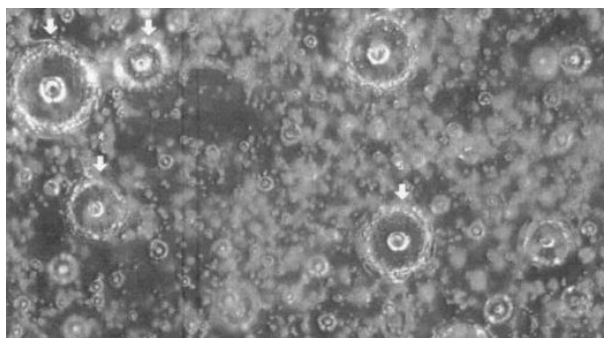
Dalším typem vady povlaku je tzv. pomerančová kůra, u které je povrch celistvý ovšem zvlněný. Může vznikat z více důvodů, z nichž nejčastějšími jsou: nános je příliš těžký, předmět měl ležet ve větší vzdálenosti do stříkací pistole, přebytek elektrolytů. [51]



Obr. 4.1.3. – Vada – pomerančová kůra. [53]

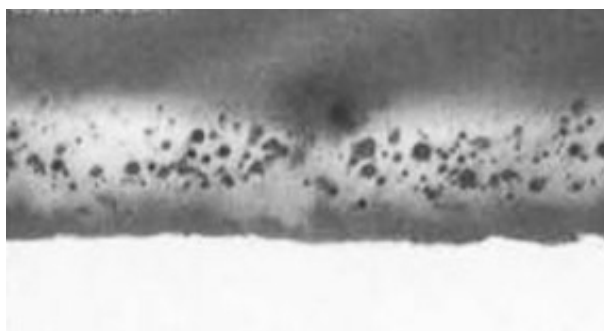
4.1.3. Bublínky, krátery, pórovitost a vpichy

Bublínky jsou vadou, která vzniká kvůli nečistotám, vadám povrchu materiálu nebo svaru a vinou plynů které unikají, se projevují jako pŕlkulovité výstupky. [51]



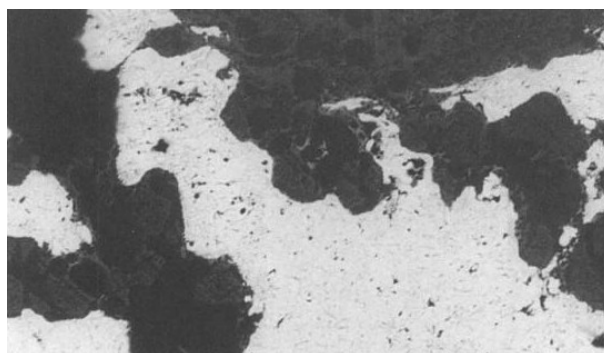
Obr. 4.1.4. – *Vada – bublinky – 100x zvětšeno.* [54]

Krátery jsou povrchové prohlubně s přesahem na okrajích kruhového tvaru, které pokud nevedou až na základní kovový materiál jsou jen nerovností povrchu zůstávající po bublinkách. Pokud procházejí skrz smaltový povlak, jsou nepřipustnou vadou. [51]



Obr. 4.1.5. – *Vada – krátery.* [57]

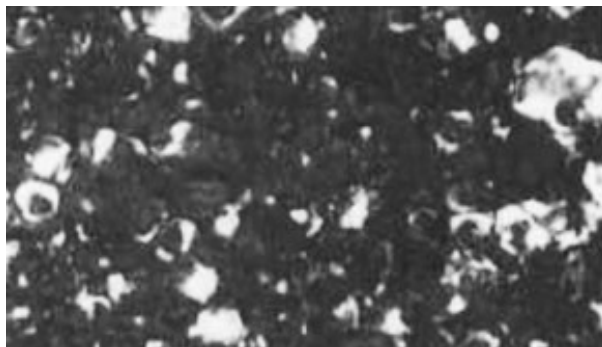
Jestliže se na povrchu vyskytuje pórovitost, chyba pravděpodobně vznikla při svařování, předúpravě povrchu nebo byl smalt špatně vypálen. Vpichy vznikají ze stejných příčin jako póry. Jsou to také necelistvosti povrchu nezasahující ve většině případů až na základový kov. [51]



Obr. 4.1.6 – *Vada – pórovitost.* [55]

4.1.4. Měděné hlavičky, přepálení smaltu

Vada měděné hlavičky a přepálení smaltu spolu úzce souvisejí. Pokud například má smaltová vrstva příliš malou tloušťku, tak během vypálení dojde k porušení celistvosti, které říkáme přepálení smaltu. Pokud jde o smalt základní nebo jednovrstvý, bude vada viditelná jako měděné hlavičky, což jsou černé nebo hnědočervená body kde došlo k zokujení (mimo tloušťku povlaku je možnou příčinou i příliš vodnatá suspenze, vady základního materiálu nebo špatný výpal). Jestliže jde o smalt krycí, místa jsou černá. [51]



Obr. 4.1.7. – Vada – měděné hlavičky. [57]

4.1.5. Odprýsknutí a poškození po výpalu

Kvůli křehkosti smaltu může dojít k poškození povlaku kvůli špatné manipulaci, což je nejčastějším důvodem vad po dodání výrobku ke spotřebiteli. Lze jim zabránit pouze opatrným zacházením. [51]



Obr. 4.1.8. – Vada – Odprýsknutí smaltu. [56]

4.1.6. Nerovnoměrné zabarvení a zatavené vady

To, že výsledný smalt má necelistvý vzhled a barva působí nejednotně, způsobuje například nevhodné sušení, elektrolyty nebo špatná suspenze a tuto vadu nazýváme vodními pásy. [51]

Mezi takzvané zatavené vady patří zatavené trhlinky, což jsou jemné necelistvosti krycí vrstvy smaltového povlaku vytvořené pnutí na fázovém rozhraní, které se nejčastěji vyskytují současně s póry. Pokud během sušení dojde k nárazu, vznikne vada tzv. hvězdicová zatavená bublina. [51]



Obr. 4.1.9. – Vada – nerovnoměrná barva. [58]

4.2. Technologie zkoušení vad

4.2.1. Zkouška optická

Kontrolu, zdali jsou na povrchu vady, můžeme provést vizuálně. Provádíme ji buď pouhým okem nebo můžeme využít optický mikroskop. Tato metoda je velice rychlá a jednoduchá, ovšem neposkytuje detailní informace o vadě (o její hloubce apod.) jen ukazuje, že je vada povrchová přítomna a to jen pro vady větších rozměrů. K zobrazení vad využíváme fluorescenčních a penetračních látek. [60]

4.2.2. Zkouška ultrazvukem

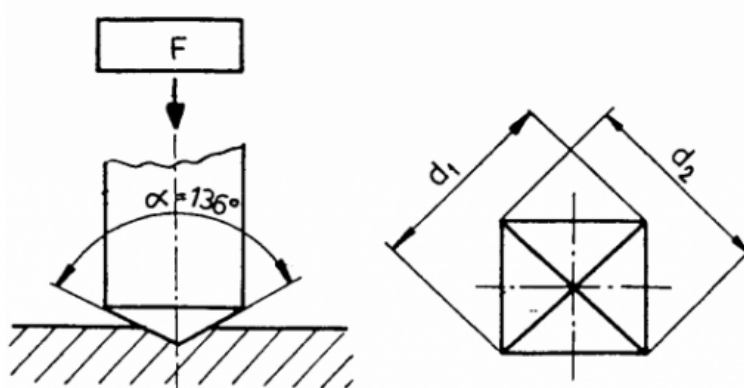
Sondou vysíláme ultrazvukové vlny do zkoušeného vzorku, signál projde nebo se odrazí do sondy přijímací, která signál převede na elektrický a ten následně vyhodnocujeme. Jelikož ultrazvuky používané pro tuto zkoušku na nízkých frekvencích, hodí se spíše pro zjišťování velkých vad, pro vady mikroskopické by musel použitý ultrazvuk dosahovat daleko vyšších frekvencí (minimálně 5 MHz). [60]

4.2.3. Zkouška nízkým napětím

Pro zjištění zda je vada pouze povrchová nebo dosahuje až k základnímu materiálu, používáme metodu A – elektrickou, zkoušení nízkým napětím, kterou detailně popisuje norma ČSN EN ISO 8289. Je vhodná pro použití na rovinné plochy k rychlé avšak přibližné lokalizaci místa vady. Na zdroj napětí k zápornému pólu připojíme zkušební vzorek kovu, který byl použit jako základový. Zkušební kapalinu napustíme do zkušební elektrody. Plochu, kterou chceme zkoušet, postupně pomalu přejedeme. Pokud je zkušební zařízení správně zapojeno, počítáme elektrické signály a lokalizujeme vady, k čemuž používáme vodivou indikační kapalinu. [51, 52]

4.2.4. Zkouška mikrotvrdosti

Jelikož tloušťka smaltového povlaku se pohybuje do maximálních 500 μm , je třeba využít pro vyhodnocení mikroskopické metody. Při zkoušce je vhodné použít Vickersovu metodu pro určení mikrotvrdosti v kombinaci optického mikroskopu s Hanemannovým mikrotvrdoměrem. Principem je vtlačování čtyřbokého jehlanu s úhlem mezi protilehlými stranami 136° do zkoušeného materiálu kolmo působící silou F . Po zatížení materiál opět odlehčíme a změříme úhlopříčku vtisku. U smaltových povlaků bylo zjištěno, že čím starší je smaltérská břečka, tím vyšší mikrotvrdosti dosahuje vypálený výsledný povlak. [52]



Obr. 4.2.3. – Princip – Vickersova metoda. [59]

4.2.5. Zkouška tloušťky smaltu

Nejvyšší povolená výšky sklovitého smaltového povlaku bývá omezena 450 – 500 μm u běžných výrobků a dá se měřit elektromagnetickými přístroji Elcometr a smaltometr. A speciálními přístroji pro barevné kovy například Isotron. [51, 52]

4.2.6. Zkouška odolnosti proti nárazu

Tato zkouška je zkouškou destruktivní, kde se za pomoci Wagnerova přístroje zvyšuje síla úderu ocelové kuličky měřící v průměru 5 mm usazené v úderníku, jež je vytlačována pružinou proti smaltové vrstvě. Vzdálenost mezi zkušebními místy musí být minimálně 20 mm. Účelem je zjistit, při jaké velikosti síly, bude smalt vykazovat první známky poškození. Výsledky této zkoušky jsou vyhodnocovány vizuálně. Experimentálně bylo zjištěno, že pokud byl základní materiál před nanesením smaltové vrstvy otryskán, byl oproti materiálu mořenému proti nárazu odolnější. [52]

4.2.7. Zkouška odolnosti proti teplotním šokům

Protože odolnost proti rychlým změnám teploty patří mezi nejdůležitější výhody smaltových povlaků, jsou oblíbené pro použití nejen v potravinářském, ale i chemickém průmyslu pro výrobu aparatur. Odolnost zkoušíme podle normy RVHO 2420-80 podle které vzorek s průměrem 105 mm a tloušťkou 10 mm položíme na vyhřívanou desku a použijeme jako dno pro skleněný válec. Opakovaně v pravidelných intervalech zahříváme a následně ochlazujeme na 20 °C a celý proces dvacetkrát opakujeme. Jestliže ani po této sérii se na vzorku nejeví vady, opakujeme proces za vyšších teplot. [51]

Další možností zkoušení je metoda dle DIN 51167. Vzorek o průměru 50 mm, tloušťce 14 mm a zaoblením horní hrany o poloměru 8 mm, v jehož spodní části je vytvořen otvor, do kterého je vložen termočlánek přitlačovaný do rozhraní kov – smalt. Upevníme ho na desku, která je elektricky ohřívána a ohřejeme na teplotu mezi 180 a 260 °C. Dále se vzorek pomocí vodní mlhy zboku ochlazuje na 150 °C a celou zkoušku čtyřikrát opakujeme. V pátém kroku snižujeme teplotu ochlazení pod hranici teploty 50 °C, pokud ani po tomto cyklu nejsou zjevná poškození povlaku, zvýšíme teplotu zkoušení a znova opakujeme. [51]

Norma ČSN 94 5050 předepisuje zkoušení smaltových povlaků pro spotřební průmysl. V pískové lázni zkušební vzorek ohříváme tři minuty na 271 °C a následně schladíme na 20 °C s podmínkou, že na povrchu vzorku bude maximálně 10 mm vrstva vody. Cyklus dvakrát opakujeme a sledujeme, kdy dojde k vadám na povlaku. [51]

4.3. Opravy

Pokud poškozené plochy nepatří mezi funkční, můžeme je opravovat, ale využíváme toho pouze ve výjimečných případech, protože je to pro nás z finančního hlediska nevýhodné, neekonomické. Opravy mohou být od doplnění smaltu až po kompletní odstranění povlaku a jeho znovu nanesení. Odstranění provádíme různě podle tloušťky stěny daného výrobku. Mechanicky tryskáním prováděným zároveň s teplotním šokem (rychlá změna teplot) pro větší tloušťky jako mají například výrobky z šedé litiny a pro menší chemicky reakcí se zásadami alkalických kovů. Během výroby můžeme nanést tzv. opravný nános smaltu (krycí) a tím zakrýt necelistvosti. V běžném provozu můžeme opravovat tantalovým šroubem s těsněním z teflonu, v chemickém prostředí je používané také teflonové těsnění avšak se smaltovaným hříbkem. [51]

5. MATERIÁLY A POVRCHOVÉ ÚPRAVY PRO VÝROBU NÁDOBÍ, JEJICH VLASTNOSTI A VHODNOST POUŽITÍ

Materiály, z nichž jsou nádoby pro tepelnou úpravu pokrmů vyrobeny, mohou obsahovat karcinogenní látky, které se za pomoci tzv. migračních látek mohou přenést do potravin a ovlivnit jak jejich kvalitu a chuť, tak i ohrozit zdraví. Proto se jejich hodnoty sledují, zda nepřekročují povolený limit. Nevhodnými materiály jsou například hliník, železo, měď a mosaz bez povrchové úpravy. Naopak vhodnými jsou nádoby z keramiky, skla, smaltu bez poškození a netoxických nejedovatých kovů, mezi které patří nerezová ocel, litina a titan. [16, 17]

5.1. Hliník

Výhodou nádobí vyrobeného z hliníku je především jeho cenová dostupnost, díky jeho nižším výrobním nákladům. Hmotnost hliníkového nádobí je mnohem nižší než hmotnost litinového. Jeho povrch se poměrně snadno udržuje a čistí, protože by měl být opatřen nepřilnavou povrchovou úpravou například teflonem nebo eloxován, čímž bude pevnější a odolnější. Jeho tepelná vodivost je z materiálů vhodných pro výrobu varných nádob po mědi druhá nejvyšší a jeho součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 237 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ při $25 \text{ }^\circ\text{C}$ a $\lambda = 229 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ při $20 \text{ }^\circ\text{C}$. [16, 17, 19, 21]

Mezi nevýhody patří, že pokud povrch není nijak upraven, mohou na něm vznikat černé skvrny například při působení lihu, také se deformovat nebo se hliník může vylučovat do potravin a způsobovat tak neplodnost nebo Alzheimerovu chorobu, u které ale stále nebyla prokázána stoprocentní souvislost. Přesto se nedoporučuje jako vhodný při přípravě a uchovávání pokrmů, které jsou kyselé nebo slané, u nich je výluh prokázán. Ovšem při neutrálním pH vody = 7 je použití bezpečné. [16, 17, 19, 23, 24]



Obr. 5.1. – Hliníkové nádobí. [25]

5.2. *Korozivzdorná ocel*

V dnešní době byl hliník z velké většiny nahrazen nádobím z austenitické korozivzdorné oceli 18–10 obsahující 18 % chromu a 10 % niklu, dále označováno jako nerezové nádobí. Tato ocel má velmi malou tepelnou vodivost, proto se do dna přidávají desky z mědi nebo hliníku tzv. sendvičová dna. Také záleží na tloušťce stěn, tenkostěnné nádoby se skroutí. Je prokázáno, že při vaření se z nádob vylučuje nikl v množství neškodném pro zdravého člověka. Povrch je citlivý na vznik estetických vad, například sůl způsobuje bílé důlky a také mohou vznikat při použití hrnců nahnědlé skvrny, oba typy jsou neodstranitelné. Tento materiál je odolný proti mechanickému opotřebení, má malou hmotnost a poměrně snadno se udržuje. Na povrch můžeme použít kovové varné pomůcky, avšak doporučují se používat klasické ze dřeva nebo plastu. [19, 20, 22, 30, 32, 34]

Nádobí z tohoto materiálu je vhodné pro sporáky plynové, elektrické, sklokeramickou desku i indukci. Zda je nádobí vhodné do myčky nádobí je třeba zkontrolovat u každého typu, není to totiž samozřejmostí. [17]



Obr. 5.2. – *Nerezové nádobí.* [36]

5.3. *Litina*

Nádobí vyráběné z litiny má dlouholetou tradici. Litina je slitinou železa, uhlíku a dalších prvků. Obsah uhlíku je nad 2,11 %. Nevýhodou je hlavně hmotnost, která je proti nádobí z jiných materiálů vysoká. Mezi hlavní přednosti patří její mechanické vlastnosti: vysoká trvanlivost, životnost, odolnost proti vysokým teplotám a tlakům, pevnost, tepelná vodivost a akumulace tepla. Vnitřní plochy se pro zvýšení nepřilnavosti upravují dvěma způsoby. Jedním je smaltová povrchová úprava a druhým je potření rostlinným olejem s následným vypálením. [17, 19, 28, 30, 32, 34]

Litinové nádobí můžeme používat pro všechny tepelné zdroje. Problémem nejsou ani pomůcky z různých materiálů, včetně kovových. Na litinové nádobí bez povrchové úpravy např. smaltováním se nedoporučují používat žádné chemické čisticí prostředky a také jsou nevhodné pro použití v myčce na nádobí. [28, 30]



Obr. 5.3. – *Litinové nádobí* [26]

5.4. Titan

Titanové nádobí se vyrábí tak, že se na základní materiál (nejčastěji hliník s tloušťkou dna $t_1 = 9 - 10$ milimetrů a tloušťkou stěn $t_2 = 3 - 5$ milimetrů) nanese nástríkem 2 – 3 vrstvy, které obsahují rozemletou keramiku a oxid titaničitý, které vytvoří nepřilnavý povrch. Je velmi odolné proti poškrábání a vysokým teplotám (až 260 °C), díky základnímu materiálu má vysokou tepelnou vodivost. Můžeme ho používat též na pečení v troubě, protože ucha jsou k tomu uzpůsobena nebo jsou odnímatelná. [17,28,30,32,35]

Standardní nádobí z tohoto materiálu je vhodné pro všechny druhy ohřevu s výjimkou indukčního, pro tu je nutné koupit speciální druh. Dá se umývat v myčce nádobí, pokud čisticí prostředek není příliš agresivní a neobsahuje ostré částičky. [28]



Obr. 5.4. – *Titanové nádobí* [42]

5.5. Měď

Měď je využívána hlavně kvůli své nejlepší tepelné vodivosti mezi materiály pro potravinářský průmysl její hodnoty jsou $\lambda = 386 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ při 25 °C, $\lambda = 395 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ při 20 °C a teplo je rozváděno rovnoměrně, čímž je energeticky úsporná. Kvůli možné reakci stykem mezi mědí a potravinami je na vnitřních částech nanесena vrstva nerezové oceli nebo cínu. Nejčastěji je to 90 % měď a 10 % nerezové oceli. Toto nádobí je vhodné jak sporáky všech typů, tak i pro indukci. Nevýhodami je nevhodnost do myčky nádobí a mikrovlnné trouby a vysoká cena. Měď vlivem vnějších vlivů například teploty mění barvu a je tedy nutno ji leštit, avšak pouze neagresivními speciálními prostředky pro čištění. Průměrná tloušťka stěny by se měla pohybovat okolo $t = 2 \text{ mm}$. [19, 21, 28, 30, 34]



Obr. 5.5. – Měděné nádobí [27]

5.6. Keramika

Nádobí vyrobené z keramiky u nás ještě nemá takovou tradici jako ostatní z materiálů, přesto je momentálně velmi oblíbený. Odolává i teplotám 450°C bez přepalování. Keramické nádobí je trvanlivé, protože je odolné proti opotřebení, poškození, teplotním změnám a korozi. Také nepohlcuje pachy a snadno se udržuje - vnitřní povrch je nepřilnavý. Keramika má nízkou tepelnou vodivost a pružnost, zato vysokou pevnost. Toto nádobí je vhodné do mikrovlnné trouby i do myčky na nádobí a pro plynové, elektrické i sklokeramické varné desky, na indukční je podle doporučení výrobců vhodné použít adaptační disk (protektor). [20, 28, 30, 32, 33, 34]



Obr. 5.6. – Keramické nádobí [31]

5.7. Sklo

Nádobí vyrobené z ohnivzdorného skla snáší bez problému jak rychlé změny teploty, tak i vysoké teploty obecně a proto jsou vhodné jak na vaření a ohřev mikrovlnné troubě, tak i na uchovávání v lednici nebo mrazáku. Varné sklo je ideálním řešením pro osoby citlivé na kovy. Jeho povrch je hladký, průhledný, nepohlcuje zápach a je snadno čistitelný, protože lze mýt i v myčce. Jeho nevýhodou je křehkost, proto se s ním musí zacházet velmi opatrně a ušetřit ho nárazů. [17, 24]



Obr. 5.7. – Skleněné nádobí [37]

5.8. Porcelán

Nádobí vyrobené z tohoto materiálu je naprosto přírodní a tak je vhodný i pro přípravu jídel pro osoby citlivé na kovy. Bez problému odolává rychlým změnám teploty a tak je stejně jako varné sklo ho vkládat jak do lednice a mrazáku, tak do trouby včetně

mikrovlnné. Varný porcelán je možné použít pro všechny druhy tepelného ohřevu. Porcelán se ohřívá pomalu, a proto příprava pokrmu trvá déle. Snadno se čistí a může se mýt v myčce nádobí bez prostředků obsahujících abrazivní částice. Porcelán se částečně neodlamuje, ale při nešetrném zacházení kdy dojde k mechanickému narušení, například pádu, praskne. [24, 34, 41]



Obr. 5.8. – *Porcelánové nádobí* [40]

5.9. Teflon a PTFE

Teflon je speciální materiál (polymer) vytvořený a registrovaný firmou DuPont. Jde o termoplast, který se nástřikem nanáší na základní materiál (nejčastěji lisovaný hliník) a tvoří tak nepřilnavou vrstvu na povrchu. Jeho použití je vhodné pro nízké i vysoké teploty v rozmezí od $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pokud dojde k dosažení teploty $360\text{ }^{\circ}\text{C}$ uvolňují se karcinogenní, toxické výpary (u běžného vaření takových teplot nedosahujeme). Nepřilnavé povrchy se vyrábějí z PTFE (polytetrafluoretylen) a přísad, které rozhodují o kvalitě výsledného povrchu. [16, 17, 18, 19, 32, 43]

Nádobí s přímo povrchem je snadno čistitelné ručně s použitím jakkoli agresivních prostředků, ale bez abrazivních částic a většina typů je vhodná i do myčky nádobí. Jako tepelné zdroje jsou vhodné plyn, elektrika, sklokeramická deska i indukce. Vhodnost se určuje podle údajů udaných výrobcem, kde rozhodujícím faktorem je materiál dna nádoby. Klasický teflonový povlak není těžké poškodit (pokud neobsahuje například titan pro zvýšení tvrdosti povrchu), proto se doporučují používat nekovové pomůcky například z plastu a dřeva. Jestliže k poškození dojde, je další použití nádoby nebezpečné. [16, 17, 18, 19, 32]



Obr. 5.9. – *Teflonové nádobí.* [35]

5.10. Smalt

Sklovitý smaltový povlak nanášíme za vysokých teplot jako tenkou vrstvu na základní materiál, kterým je nejčastěji lisovaný ocelový plech nebo litina. Jeho účelem je chránit nádoby před okolními vlivy jako je například koroze. Obecně platí, že čím menší je tloušťka smaltu tím lépe. Ovšem příliš tenká vrstva, kterou může signalizovat příliš nízká cena, se při sebemenším neopatrném zacházení začne praskat nebo se loupat, dokonce se kousek může odštípnout. Přičemž platí, že poškozené nádobí dále nepoužíváme kvůli možnému přenosu železa nebo pojiva do potravin. Naopak u kvalitního smaltovaného, neporušeného nádobí máme jistotu, že je zdravotně nezávadné, odolné proti vysokým teplotám, má rovnoměrný rozvod tepla, jeho údržba je snadná a tak může vydržet i desítky let. Vyrábí se s mnoha rozmanitými vzory a někteří výrobci poskytují i možnost vlastního návrhu dekoru. Smaltové nádobí je citlivé na rychlé teplotní změny. Smaltované nádobí je možné umývat v myčce nádobí s použitím jakýchkoliv mycích prostředků. Je vhodné pro všechny typy ohřevů včetně indukce [16, 28, 29, 39]

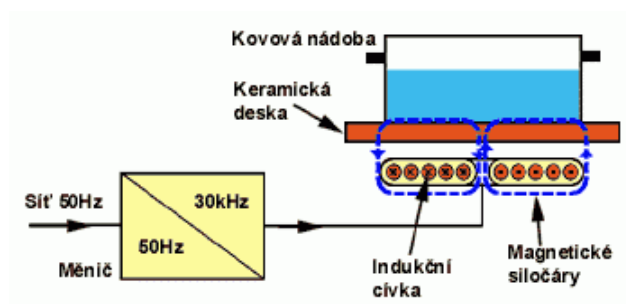


Obr. 5.10. – *Smaltované nádobí.* [38]

6. VLIV INDUKČNÍHO OHŘEVU NA SMALT

6.1. Princip elektromagnetické indukce

Základem funkce je Faradayův fyzikální zákon pojednávající o elektromagnetické indukci. Indukční varná deska je sklokeramická deska, pod kterou je umístěna měděná cívka obsahující závity, v níž vznikne magnetické pole, která je napájena měničem s frekvencí od 25 do 35 kHz. Nastavíme výkon a při umístění feromagnetického materiálu na indukční desku vznikne elektromagnetické pole, které indukuje vířivé proudy, a ty se přemění na teplo pomocí elektrického odporu a ohřejí dno nádoby. [45, 46, 47, 49]



Obr. 6.1. – Princip elektromagnetické indukce. [45]



Obr. 6.2. – Varná indukční deska. [44]

6.2. Výhody indukční desky

6.2.1. Bezpečné použití

Pokud nádobí není z materiálu vhodného pro vaření na indukčních vaříčích, deska se nezapne. Při sundání varné nádoby z vhodného materiálu nebo v případě prázdné nádoby se deska automaticky vypne. Aby nedošlo k ohřívání cizích těles, musí se na plochu dát předmět (nádobí) zabírající minimálně 2/3. Protože při tomto druhu vaření není přítomen otevřený oheň, není zde riziko požáru a popálení - nevztahuje se na prostor pod nádobou,

která tuto část zpětně ohřívá, ale na teplotu nad 60 °C upozorňuje kontrolka zbývajících tepla. Nejvyšší možná dosažitelná teplota je 300 °C, která je nedostatečná například pro vznícení oleje a podobně. [49, 50]

6.2.2. Snadná údržba

Protože se u indukčního ohřevu nerozpálí celý povrch desky, ale jen zpětně od nádobí část, která leží přímo pod ním, je čištění velmi jednoduché. Čistit ji můžeme jen pomocí houbičky nebo hadříku s vodou, protože se na ni nečistoty nepřipékají. K údržbě sklokeramické desky můžeme používat i přípravky speciálně určené pro tyto povrchy. [47, 49]

6.2.3. Efektivita

Hlediskem, které nejčastěji rozhoduje o nákupu právě indukční desky je její 90 % účinnost, která je nejvyšší v poměru s ostatními druhy ohřevů na trhu (účinnost – 40 % plyn, 50 % elektrika, 60 % sklokeramika). Ztráty jsou rozděleny mezi cívku a elektroniku a zbytek se přemění na čisté teplo jdoucí do dna nádoby. Při zvýšení nebo snížení výkonu je reakční doba okamžitá, z části proto je tento tepelný zdroj v porovnání s ostatními nejrychlejší. Teplota se dá regulovat na přesnost ± 1 °C. Nové a kvalitní desky si samy dokáží regulovat velikost pole, která závisí na velikosti použitého nádobí, čímž zajišťuje další úsporu. [47, 49, 50]

6.2.4. Doplnková výbava

Kromě základních prvků popsanych viz bod 6.2.1, jsou možné i další rozšíření ať u v základní nabídce indukčních desek nebo u těch dražších. Mezi ty základní prvky patří velmi lehce pochopitelné, přehledné ovládání pomocí senzorů s obrázky nebo ikonami. Dále je samozřejmostí dětská pojistka a kontrolky funkcí upozorňující na skutečnosti jako nevhodné nádobí nebo žádné nádobí na zapnuté desce. U některých desek se můžeme setkat například s minutkou, tlačítkem zvyšujícím výkon i o 50 % na omezenou dobu nebo automatickou předvolbu pro určité pokrmy a činnosti jako je například ohřev mléka. [49]

6.3. Nevýhody indukční desky

Hlavní nevýhodou bývala vysoká cena, která se ovšem v průběhu let snižovala až na dnešní cenu, která je již finančně dostupná i běžné domácnosti. Jestliže se spokojíme s tím, že deska nebude od některého z prestižních výrobců (jejíž ceny se pohybují kolem 50 000 Kč), můžeme ji zakoupit již v ceně okolo 10 000 Kč. Ovšem poškození například nárazem nebo poškrábáním je neopravitelné, je tedy potřeba desku vyměnit za nový kus. [48, 49]

6.3.1. Připojení

Mezi nevýhody patří takřka nemožnost kvalitního zapojení více ploténkové desky v panelových domech, které nabízí připojení jen 230 V. Pro správné zapojení je třeba dvou případně tří fází. Nejlepším řešením elektrického připojení je přes třífázový kabel 380 V popřípadě 400 V. Pro byty je vhodné řešení méně plotýnková deska s nižším příkonem nebo dvoufázově připojená indukční deska. Připojení je možné realizovat i jednou fází, ovšem deska musí být k tomuto účelu speciálně upravena, ale v tomto případě se sníží výkon jednotlivých plotének. [47]

6.3.2. Nádobí pro indukční ohřev

Aby bylo nádobí vhodné pro vaření na indukční desce, musí být feromagnetické. Mezi takové nádoby s obsahem železa patří ty se dnem vyrobeným z litiny, smaltované nádoby a nerezové určené pro indukci nebo magnetem vyzkoušíme - pokud se přichytí, můžeme jej použít. Pokud kupujeme nádobí nové, přečteme si doporučení výrobce kvůli vhodnosti nebo se podíváme, má-li na sobě obrázek cívky. Nevhodnými materiály pro indukční vaření jsou keramika, sklo a nerezové nádoby, na které se magnet nepřichytí. Platí také, že čím větší tloušťka dna, tím je rovnoměrnější rozložení a rozvod tepla. Tvarově jsou nejlepší nádoby, které mají dno ploché nebo sendvičové. [47, 49]

6.3.3. Hluk

Indukční deska nám může přijít hlučná, pokud na ni přecházíme například z desky elektrické. Hlučnost může mít hned několik důvodů. Závisí na druhu použitého nádobí, na množství připravovaného pokrmu dále mohou být na vině ventilátor nebo brnicí cívka.

Zvuky nejsou nijak zvlášť hlasité ani dráždivé, a pokud se nejedná o naprosto tichou místnost, tak zaniknou. [47, 50]

6.4. Teplotní odolnost smaltových povlaků

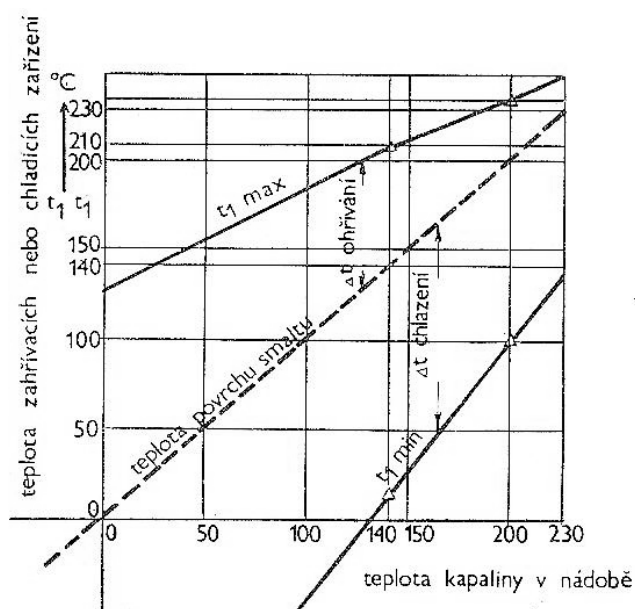
Na odolnost mají vliv nejen fyzikální veličiny, ale také to, jaký tvar má plocha, která je smaltovaná. Smalty obecně velmi dobře tyto změny snášejí v rozmezí od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $450\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pro prudké teplotní šoky vycházející z fyzikálních vlastností smaltu platí:

$$\Delta t = \frac{\sigma_p(1-\mu)}{E \cdot \alpha} \cdot K \quad (7.4) [51]$$

kde Δt je nejvyšší dovolený teplotní rozdíl, σ_p pevnost v tahu smaltu, μ Poissonovo číslo ($\approx 0,2$), E modul pružnosti smaltu, α koeficient délkové teplotní roztažnosti smaltu

$$K = \frac{\lambda}{c\rho} \quad (7.5) [51]$$

kde K je koeficient vlastností smaltu, c specifická tepelná kapacita smaltu [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$], λ součinitel tepelné vodivosti smaltu [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$], ρ hustota smaltu [kg m^{-3}]. [51]



Obr. 6.4. – Hranice maximálních přípustných změn při ohřívání a ochlazování. [51]

7. ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývala studiem praskavosti sklovitých smaltových povlaků při tepelném zatížení a její vypracování se skládá z teoretických částí rozdělených do kapitol, které pojednávají nejprve o rozdělení smaltových povlaků na základní, krycí a jednovrstvé. Dále podle základního materiálu, na který je sklovitý smaltový povlak nanášen na smalty na ocelový plech, neželezné kovy a šedou litinu a také pojednává o jejich vlastnostech korozních, mechanických, optických se zaměřením na vlastnosti tepelné.

V další části popisuje předúpravy povrchu, které je potřeba provést pro zajištění přilnavosti a vhodné zakotvení povlaku. Jelikož jsou k povrchu látky vázány mechanicky i chemicky, odstraňujeme je těmito způsoby. Mechanicky otryskáváním, omíláním, broušením, leštěním a kartáčováním. Chemicky odmašťováním, mořením a neutralizací.

Dále se zaměřuje na technologii smaltování a popisu technologický postup vytvoření sklovitého smaltového povlaku, včetně surovin pro jeho vytvoření. Popisuje co je smaltéřská suspenze a práškový smalt a vysvětluje, jak se nanáší smaltové povlaky z mokra a za sucha a způsoby technologií vytvoření nánosu. Nevyjímá jejich sušení a vypalování.

V neposlední řadě popisuje vady, které mohou vzniknout během procesu smaltování nebo po něm, jako jsou vady typu – bublinky, krátery, pomerančová kůra, póry, vpichy, měděné hlavičky, přepálení smaltu, odprýsknutí, nerovnoměrné zabarvení s důrazem na vadu rybí šupina, jejíž vznik závisí na teplotě (nejen), protože během výpalu dochází k fázovým přeměnám železa. Pojednává také o zkouškách, kterými vady povlaku zjišťujeme a o případných možnostech opravy.

Ve zbytku práce byly prostudovány materiály vhodné pro výrobu varných nádob jako hliník, korozivzdorná ocel, litina, titan, měď, keramika, sklo, porcelán, titan a jejich povrchové úpravy PTFE, teflon a smalt. Zabývá se jejich schopností odolávání teplot, vhodností pro indukční ohřev, tepelnou vodivostí a zdravotní nezávadností.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] MOHYLA, M. *Technologie povrchových úprav kovů*. 3. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006, 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
- [2] PODJUKLOVÁ, J. *Speciální technologie povrchových úprav I*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1994, 71 s. ISBN 80-707-8235-8.
- [3] PODJUKLOVÁ, J. *Nové obzory v poznání vlastností sklokeramických smaltovaných povlaků*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010. ISBN 9788024823393.
- [4] MEFRIT: Smalty. MEFRIT. *Mefrit: frity-smalty-glazury* [online]. 2008 [cit. 2014-01-12]. Dostupné z: <<http://www.mefrit.cz/index.php?page=20000&lang=cz>>
- [5] JUŘÍČEK, V. Smaltéřské frity, smalty, elektrostatické prášky: Co je smalt?. *FRITY.CZ: moderní výrobky - stabilní kvalita - nízká cena - technický servis* [online]. 2012. vyd. 2012, 15. 11. 2013 [cit. 2014-01-12]. Dostupné z: <<http://www.frity.cz/>>
- [6] KRAUS, V. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2000, 218 s. ISBN 80-7082-568-1.
- [7] MURCINA, L. *Studium vlivu vstupních surovin na křehkolomové vlastnosti sklovitého smaltového povlaku*. Ostrava: katedra mechanické technologie, Fakulta strojní, VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009, 90 s. Diplomová práce, vedoucí: Podjuklová, J.
- [8] PODJUKLOVÁ, J., Kamila HRABOVSKÁ, Marcela FILIPOVÁ a René TRNKA. *Vliv stárnutí vstupních materiálu na vlastnosti sklovitého smaltového povlaku*. In: *Metal 2014* [online]. 2004 [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://www.metal2014.com/files/proceedings/metal_04/papers/181.pdf>

- [9] Předúpravy povrchu: Shrnutí teoretických základů. In: *České vysoké učení technické: Fakulta strojní* [online]. Praha, 2010, 17.1.2014 [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <<http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/PU/teoreticke%20podklady/P%C5%99ed%C3%BApravy%20povrchu.pdf>>
- [10] LANÍK, T., Jitka PODJUKLOVÁ, Kamila HRABOVSKÁ, Kateřina PELIKÁNOVÁ, Lenka DOBROVODSKÁ a BÁRTEK. Ovlivnění mechanických vlastností sklokeramických povlaků jemně mletým jílem. In: *Nanocon 2014* [online]. 2009 [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://www.nanocon.eu/files/proceedings/nanocon_09/Lists/Papers/124.pdf>
- [11] PODJUKLOVÁ, J., Kamila HRABOVSKÁ, Kateřina PELIKÁNOVÁ a Lenka DOBROVODSKÁ. Vliv velikosti jílových anorganických složek na křehkolomové vlastnosti sklovitých smaltových povlaků. In: *Metal 2014* [online]. 2008 [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://www.metal2014.com/files/proceedings/metal_08/Lists/Papers/192.pdf>
- [12] HETMÁNEK, Lukáš. *Studium sklovitých smaltových povlaků v kontaktu s biologickým prostředím: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2012, 74 s. Vedoucí práce: Podjuklová, Jitka.
- [13] ZBOŽÍNKOVÁ, I.: Studium vlastností povrchu antikorozní oceli a sklovitého smaltového povlaku po kontaktu s kapalinami. Ostrava, katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009, 63s. Diplomová práce, vedoucí Podjuklová, J.
- [14] KUDLÁČEK. Anorganické povlaky: Keramické povlaky. ČVUT. *Ekologie materiálů a procesů* [online]. 18.3.2011 [cit. 2013-12-15]. Dostupné z: <martin.feld.cvut.cz/~kudlacek/ETP/11_anorgpovlaky.pdf>

- [15] SMALTOVNA TUPESY, A. S. O smaltování. *Smaltovna Tupesy* [online]. [cit. 2013-12-15]. Dostupné z: <info.smaltovna-tupesy.cz/ws-smaltovna/f40626d2-af0b.../@@@download>
- [16] V čem vařit či nevařit. *Viš, co jíš?* [online]. © 2014 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.viscojis.cz/teens/index.php?option=com_content&view=article&id=133%3A113&catid=112%3Akulinarni-upravy-potravin&Itemid=161>
- [17] Vím co jím: Nádobí, základ zdravého vaření!. *Vím co jím: Nádobí, základ zdravého vaření!* [online]. 2013, 16.5. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.vimcojim.cz/cs/spotrebitel/zdrava-vyziva/tipy-zdrave-vyzivy/Nadobi,-zaklad-zdraveho-vareni!__s639x7727.html>
- [18] Žijeme naplno: Pokrokové materiály ve vaší kuchyni. KLOBÁSOVÁ, Petra. *Žijeme naplno: Pokrokové materiály ve vaší kuchyni* [online]. © 2010 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <<http://www.zijemenaplno.cz/Clanky/a352-Pokrokovematerialy-ve-vasi-kuchyni.aspx>>
- [19] VLASTA: Zapeklité nádobí: zjistěte, které vám nepoškodí zdraví. ŠKOLOUDOVÁ, Dagmar. *VLASTA: Zapeklité nádobí: zjistěte, které vám nepoškodí zdraví* [online]. 2013, 14.3. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <<http://www.vlasta.cz/clanky/domacnost/2013/3/14/zapeklite-nadobi-zjistete-ktere-vam-neposkodi-zdravi/>>
- [20] MAREŠOVÁ, Jana. Hrnečku, vař aneb od varných jamek k nanotechnologii [online]. 2013 [cit. 2014-05-02]. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta. Vedoucí práce Halina Matějová. Dostupné z: <http://is.muni.cz/th/101253/lf_b_b1/>
- [21] WIKIPEDIE: Tepelná vodivost. *WIKIPEDIE: Tepelná vodivost* [online]. 2014, 17.2. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Tepeln%C3%A1_vodivost>

- [22] WIKIPEDIE: Korozivzdorná ocel. *WIKIPEDIE: Korozivzdorná ocel* [online]. 2013, 6. 9. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Korozivzdorn%C3%A1_ocel>
- [23] WIKIPEDIE: Hliník. *WIKIPEDIE: Hliník* [online]. 2014, 9. 4. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlin%C3%ADk>>
- [24] MURGOVÁ, Ružena, [autoři fotografií Dionýz Dugas...[et] AL] a Překlad Ivana Šeinerová a Iveta RAPÁKOVÁ]. *Hospodyňkám od A do Z*. [3. vyd.]. Bratislava: Obzor, 1990. ISBN 80-215-0060-3.
- [25] Iproděti:SADA CAMPINGOVÉHO NÁDOBÍ. *Iproděti: SADA CAMPINGOVÉHO NÁDOBÍ* [online]. 2013 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <<http://www.iprodeti.cz/coorexshop-cz/eshop/25-1-Sleva/0/5/3122-SADA-CAMPINGOVEHO-NADOBI>>
- [26] SKEPPSHULT: Litinový hrnec 4l. *SKEPPSHULT: Litinový hrnec 4l* [online]. 2013 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <<http://www.litinove-nadobi.cz/hrnce-a-pekace/litinovy-hrnec-4l-2/>>
- [27] MĚDĚNÉ NÁDOBÍ. *Morreti: Nádobí Morreti pravá volba do vaší kuchyně* [online]. © 2011 - 2014 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <<http://www.morreti.cz/medene-nadobi/>>
- [28] Nádobí na vaření: Nerez, titan, keramika nebo litina?. *Svět bydlení: Inspirace pro bydlení* [online]. 15. 07. 2011 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <<http://www.svet-bydleni.cz/bydleni-1/nadobi-na-vareni-nerez-titan-keramika-nebo-litina.aspx>>
- [29] Smaltované nádobí. *VařTo.cz: Kuchyňské nádobí* [online]. 2011 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <<http://www.varto.cz/smaltovane-nadobi-213955>>
- [30] Na co si dát pozor při výběru nádobí?. *Bydlení idnes.cz* [online]. 9. dubna 2012 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://sdeleni.idnes.cz/na-co-si-dat-pozor-pri-vyberu-nadobi-d62-/rea-sdeleni.aspx?c=A120403_165537_rea-sdeleni_ahr>

- [31] Titan a Keramický riad akcie: Keramická sada hrncov a panvíc 14dielna-maxi plus black. © GOBYUS.COM, 2005-2008. *Internetový predaj* [online]. 2008 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <<http://internetovypredaj.sk/index.php?internetovyobchod=Keramicky-riadkeramicky-povrch-bez-teflonu&h=1&sid=&k1=2&m1=1&o=269>>
- [32] Vše o nádobí: Je lepší titan, nerez, nebo keramika?. KRAJMEROVÁ, MAGDALÉNA. *Pro ženy.cz: Bydlení* [online]. 27. 01. 2012 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <<http://www.prozeny.cz/magazin/bydleni-a-zahrada/kuchyne/31146-vse-o-nadobi-je-lepsi-titan-nerez-nebo-keramika>>
- [33] Keramika. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 11. 04. 2010, 20. 11. 2013 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Keramika>>
- [34] Přečtěte si tipy, jak vybrat kvalitní nádobí vhodné na indukční sporák. In: *Bydlení idnes.cz* [online]. 3. 12. 2012 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://bydleni.idnes.cz/kulina-cz-predstavuje-nadobi-na-indukci-fcn/-stavba.aspx?c=A121203_163950_rea-sdeleni_lpo>
- [35] Aston Teflonové nádobí 3 hrnce pánev pečící plech. *Heuréka: univerzální encyklopedie* [online]. Voznice: Leda, c1999, 2014 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <<http://sady-nadobi.heureka.cz/aston-teflonove-nadobi-3-hrnce-panev-pecici-plech/>>
- [36] Sada HOME PROFI, 13 dílů, nerez 18/10. *Etescoma: když rádi vaříme* [online]. 2011 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <<http://www.etescoma.cz/sady-nadobi/sada-home-profi-13-dilu-nerez-18-10-p-201515.html?cPath=202134>>
- [37] Hrncet set 3 hrnce varné sklo 0,75 l, 1,25 l, 2 l Pyrex: Nádobí na pečení. *Gastrozone spol. s r.o.: Eshop a velkoobchod se značkovými gastro výrobky* [online]. 2013 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <<http://www.gastrozone.cz/hrnec-set-3-hrnce-varne-sklo-pyrex-6334.html>>

- [38] Soupravy smaltované nádoby: sada HENRIETA - CIBULÁK - smaltované nádoby. *Krupi.cz* [online]. 2011 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <<http://www.krupi.cz/soupravy-nadobi/sada-henrieta-cibulak-smaltovane-nadobi>>
- [39] Smaltované nádoby. *SMALTOVANÉ NÁDOBÍ BELIS* [online]. 2012 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <<http://smaltovane.nadobi.obchodylevne.cz/>>
- [40] Kastrol se saténově černou poklicí Ø 26 cm Revolution, Revol: porcelán, vhodné i na indukci. *Kulina.cz: V kuchyni* [online]. 2013 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <<http://www.kulina.cz/kastrol-se-satenove-cernou-poklici-o-26-cm-revolution-revol/d-78277/>>
- [41] Porcelánové nádoby Revol. *Kulina.cz: V kuchyni* [online]. 2013 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <<http://www.kulina.cz/porcelanove-nadobi-revol/>>
- [42] 7 dílná sada nádobí OPTIMA titan indukce. *Doplňkydomova.cz: víme, co Váš domov potřebuje* [online]. 2006 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <<http://www.doplňkydomova.cz/doplňkydomova-cz/eshop/3-1-Domaci-potreby/209-3-titan-slitina/5/9942-7-dilna-sada-nadobi-OPTIMA-titan-indukce>>
- [43] Mýty a fakta o nepřilnavých pánvích. In: *Blesk pro ženy: Volný čas* [online]. 26. 4. 2012 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <<http://prozeny.blesk.cz/clanek/pro-zeny-volny-cas/173237/myty-a-fakta-o-neprilnavych-panvich.html>>
- [44] Varná deska indukční CASO E4: Varná deska indukční CASO MASTER E4 Slide. *Do kuchyně a domácnosti: Vybavení do kuchně* [online]. 2013 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <<http://www.dokuchyne-domacnosti.cz/dokuchyne-domacnosti/eshop/15-1-Indukcni-varna-deska-CASO/0/5/53-Varna-deska-indukcni-CASO-E4>>
- [45] Indukční ohřev. *Fyzmatik.píše* [online]. 16.3.2009 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <<http://fyzmatik.pise.cz/826-indukcni-ohrev.html>>

- [46] Indukční vaříč. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 19.6.2010, 5.1.2014 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Induk%C4%8Dn%C3%AD_va%C5%99i%C4%8D>
- [47] Vaření na indukční desce. *Elza kuchyně: Spotřebiče* [online]. 2014 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <<http://www.kuchyneelza.cz/spotrebice/vareni-na-indukcni-desce.htm>>
- [48] Indukční deska: nevýhody. *Indukční deska* [online]. 2014 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <<http://www.kuchyneelza.cz/spotrebice/vareni-na-indukcni-desce.htm>>
- [49] Indukční způsob vaření. *Rodina-finance* [online]. 28.3.2011, 30.8.2012 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <<http://www.rodina-finance.cz/bydleni.202/indukcni-zpusob-vareni.21062.html>>
- [50] Indukční deska: výhody. *Indukční deska* [online]. 2014 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <<http://www.indukcni-deska.cz/indukcni-deska-vyhody>>
- [51] BOUŠE, Václav et al. *Smalty a jejich použití v protikorozi ochraně*. 1. vyd. Praha: SNTL, Praha, 1986. 216 s.
- [52] PODJUKLOVÁ, Jitka. *Nové obzory v poznání vlastností sklokeramických smaltovaných povlaků*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010, 135 s. ISBN 978-80-248-2339-3.
- [53] Automotive Corner: Paint Trouble Shooting. *Autocorner* [online]. 2000 [cit. 2014-05-09]. Dostupné z: <<http://www.autocorner.ca/pages/painttrouble.html>>
- [54] STEVE KILCZEWSKI, Conference director, Assistant conference director HOLGER EVELE a William D.editor WILLIAM D. FAUST. *66th Porcelain Enamel Institute Technical Forum April 26-29, 2004, Nashville, Tennessee*. Westerville, Ohio: American Ceramic Society, 2004. ISBN 04-702-9159-1.

- [55] *57th Porcelain Enamel Institute Technical Forum Ceramic Engineering and Science Proceedings, Volume 16, Issue 6*. Hoboken: Amer Ceramic Society, 2009. ISBN 978-047-0316-368. Dostupné z: <http://books.google.cz/books?id=UGUpw_C_xpAC&pg=PA54&dq=craters+enamel&hl=cs&sa=X&ei=HrZrU7bWNsmFyQOY_4CoBQ&ved=0CEUQ6AEwAzgK#v=onepage&q=craters%20enamel&f=false>
- [56] Gril Professor Grilio D57 [61335]. *A.cz* [online]. 2013 [cit. 2014-05-09]. Dostupné z: <<https://www.a.cz/?idm=7&ida=52811&ppm=1>>
- [57] *61st Porcelain Enamel Institute Technical Forum*. Hoboken: Amer Ceramic Society, 2009. ISBN 978-047-0295-045. Dostupné z: <http://books.google.cz/books?id=yMhekRUYyzAC&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>
- [58] Tchibo. In: *Černá moora* [online]. 2013 [cit. 2014-05-09]. Dostupné z: <<http://cernamoora.blogspot.cz/2013/09/tip-na-slevu-parfums-tchibo-extra.html>>
- [59] Tvrdost (mikrotrvdost): významná mechanická vlastnost materiálů. *Chempoint: Vědci pro průmysl a praxi* [online]. 14.12.2011 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <<http://www.chempoint.cz/tvrdost-mikrotrvdost>>
- [60] MENČÍK, J.: *Pevnost a lom skla a keramiky*. SNTL, Praha, 1990. 389 s. ISBN 80-03-00205-2.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.5.1. – Model sklometalického klastrového komplexu v oktaedrické symetrii	16
Obr. 1.5.2. – Adhezní mezivrstva sklokeramického komplexu na fázovém rozhraní kov – smalt	16
Obr. 2.1.1. – Dopad částice na povrch /a) šikmý, b) rovnoběžný, c) kolmý/	18
Obr. 2.1.2. – Tlakový jednokomorový tryskač	19
Obr. 4.1.1. – Vada typu rybí šupina	25
Obr. 4.1.2. – Závislost rozpustnosti vodíku v železe na teplotě	26
Obr. 4.1.3. – Vada – pomerančová kůra	26
Obr. 4.1.4. – Vada – bublinky	27
Obr. 4.1.5. – Vada – krátery	27
Obr. 4.1.6. – Vada – pórovitost	27
Obr. 4.1.7. – Vada – měděné hlavičky	28
Obr. 4.1.8. – Vada – odprýsknutí smaltu	28
Obr. 4.1.9. – Vada – nerovnoměrná barva	29
Obr. 4.2.3. – Princip – Vickersova metoda	30
Obr. 5.1. – Hliníkové nádobí	33
Obr. 5.2. – Nerezové nádobí	34
Obr. 5.3. – Litinový hrnec	35
Obr. 5.4. – Titanové nádobí	35
Obr. 5.5. – Měděné nádobí	36
Obr. 5.6. – Keramické nádobí	37
Obr. 5.7. – Skleněné nádobí	37
Obr. 5.8. – Porcelánový hrnec	38
Obr. 5.9. – Teflonové nádobí	39
Obr. 5.10. – Smaltované nádobí	39
Obr. 6.1. – Princip elektromagnetické indukce	40
Obr. 6.2. – Varná indukční deska	40
Obr. 6.4. – Hranice maximálních přípustných změn při ohřívání a ochlazování	43